

雪国向き

LED 信号機の研究

青森県立名久井農業高等学校

TEAM RED SIGNALS II

代表 環境システム科 3 年 出町孔汰

前川原新、熊谷紀乃

環境システム科 2 年

箕田明莉、前川原椿

1 はじめに

1994年に初めてLED化された道路の信号機。省エネできるため2025年現在では約78%が従来の電球型から置き換わっている。しかし熱が発生しにくいことからレンズ面に付着した雪が溶けず、北海道や東北はもちろん、海外の雪国でも見えにくいと安全面で問題となっている（図1）。対策としてフードをつける、傾けるなどの工夫をしているが効果が小さい。海外では1灯約50Wヒーターをつけており、日本でも検討されているが、省エネにならないので進んでいない。さらにLEDは信号機だけでなく鉄道信号、表示板、街灯、車のライトなど広く使われており、深刻な問題となっている。そこで私たちは地域の深刻な問題の解決に貢献したいと考え、雪国向きLED信号機の研究を行なっている。



図1 雪国のLED信号機（左：付着 中央：傾斜 右：雪が付着したLEDヘッドライト）

2 研究方法と結果

雪国向きLED信号機を考案するにあたり着目したポイントは、信号機カバーの撥水性、LEDの放射熱、カバーへの熱供給、素材の熱透過性の4つである。紙面の関係上、それぞれを簡単に説明する。

（1）カバーの撥水性

一般に使われているアクリルやのガラス、また小さな突起のロータス効果で撥水するフィルムのトーヤルロータス（東洋アルミ）、さらに離水剤ルナフロー（花王）を塗布したガラスに水滴及び氷を垂らし観察した。これらの素材の接触角はすでに調査されているので、それを確かめるのが目的である（表1）。なお接触角が小さいと親水性が高く、90度以上で撥水、150度以上で超撥水と呼ぶ（図2）。

表1 素材の接触角

素材名	接触角
ガラス	20～30度
アクリル、ポリカーボネート	60～70度
離水剤ルナフロー	110度
撥水フィルムトーヤルロータス	170度

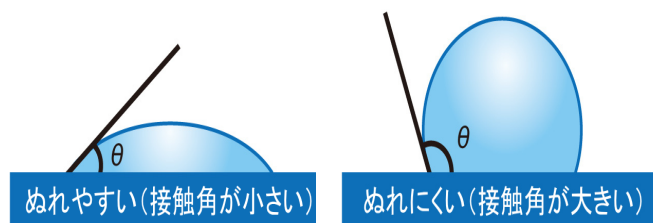


図1 接触角（左：親水性 右：撥水性）

その結果、ガラスは強い親水性、アクリルは中程度の親水性、ルナフローは撥水性、トーヤルロータスは超撥水性であることを確認できた（図2）。これにより従来の信号機カバーであるポリカーボネートなどプラスチック素材より、離水剤を塗布したり、表面にロータス加工した方が水を弾けることを確認することができた。しかし離水剤はフッ素系塗料のため、耐久性に難があり、素材にロータス加工を施したフィルムやプラ素材を用いると良いと考える。

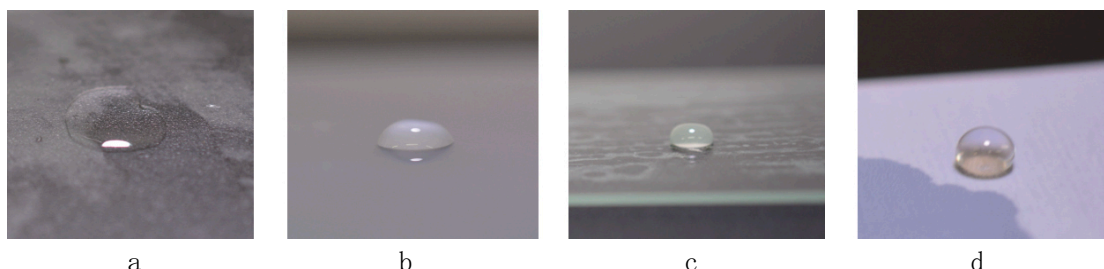


図2 水滴の接触角（a：ガラス b：アクリル c：ガラス+離水剤 d：トーヤルロータス）

また青く着色した氷を乗せた素材を傾け何度になると転げ落ちるかという転落角、さらに転落した氷が素材表面にどの程度水分が付着させたかも調査観察した。なぜなら雪国では残った水分が凍結し、

着雪につながるからである。試験区と結果は表 2、方法は図 3 に示した。試験の結果、ガラスやアクリルでは 35 度以上傾けないと転落しないのに対して、離水剤を塗ると約 17° に、さらにロータス効果のあるフィルムでは 13 度前後で落ちることがわかった。豪雪地帯の信号機傾斜角は 30 度のため、水にさえできれば十分効果が期待できるものである。

表 2 各素材と転落角 (3 回平均) 単位: 度

試験区	1回目	2回目	3回目	平均
ガラス(1.3mm)	40	37	35	37.3
アクリル(1.0mm)	31	28	44	34.3
ガラス+離水剤	18	13	18	16.3
アクリル+離水剤	21	14.6	15.3	17
ロータス	13	10	15	12.7
ロータス+離水剤	14	15	15.1	14.7

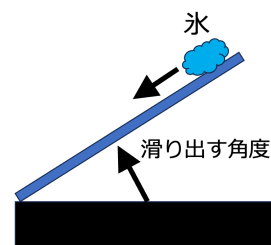
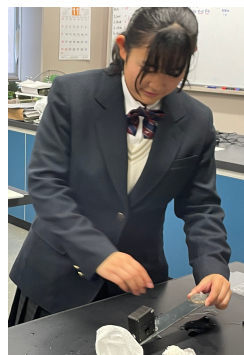
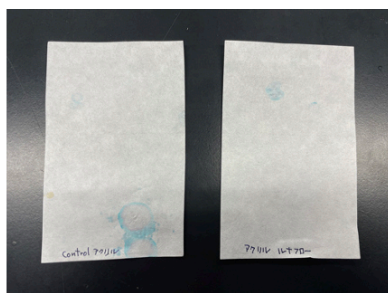


図 3 接触角の測定

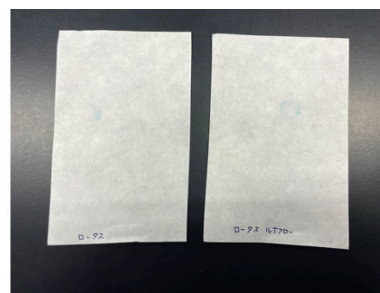
次に転落後、どの程度水分が残るか調査した。調査は青く着色した氷が落ちた後、吸取り紙を当てて水分を吸収し、その状態を観察した (図 4)。その結果、早く転落した離水剤やトーヤルロータスの表面にも水分が残ることがわかった。これを素早くなくすには熱が必要だと考えた。



a ガラス



b アクリル板.



c トーヤルロータス

図 4 表面に残った水分 (2 枚のうち左はそのまま、右は離水剤を塗ったもの)

(2) LED の放射熱

LED は発熱しにくいですが、熱は出している。そこで波長によって発熱が異なるのかブレッドボードに 3 つの発光ダイオードを装着して点灯させ各波長の発光部および基盤の温度をサーモグラフィーで測定した (図 5)。また、カバーに見立てた体積 28.26 cm³ のプラスチック容器を被せて、内部の温度変化も測定した。なお発光ダイオードの波長は図 6 に示す。また結果は図 7 に示した。

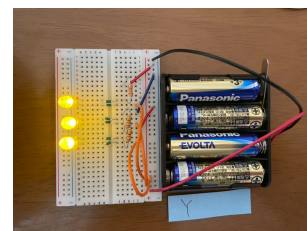
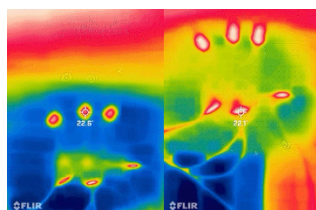
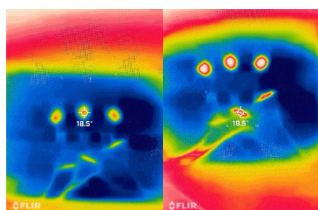


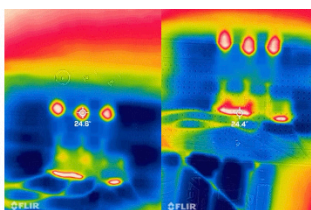
図 5 自作実験装置



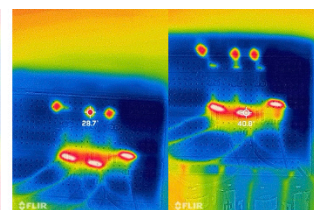
青 (470nm)



赤 (625nm)



黄 (590nm)



赤外 (1450nm)

図 6 点灯 30 秒後のサーモグラフィー (左: 発光部 右: 基盤)

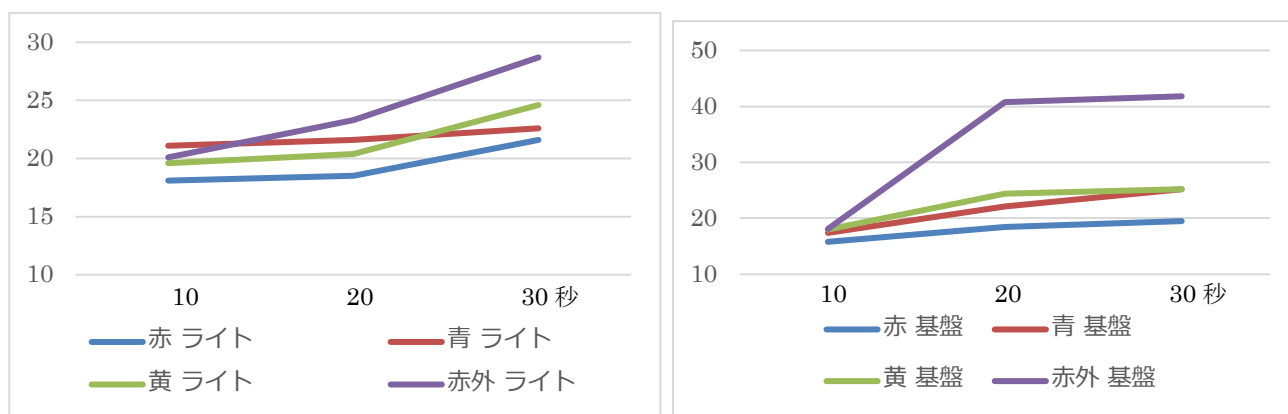


図7 点灯10秒ごとの温度変化（左：発光部 右：基盤）単位：℃

グラフからわかるように発光ダイオードも発熱している。中でも赤外光が30秒後に28.7℃と高くなる。また基盤部分からも発熱しており、こちらも赤外光が40℃以上になった。発光ダイオードが発熱しないのはエネルギーの多くを光に変えるからで波長が短いほど効率的に変換される。しかし赤外光は波長が長く、可視光ではないためエネルギーが光ではなく熱となったと思われる。そこで私たちは赤外発光ダイオードをヒーターとして利用することを考えた。

図8は従来の赤、青、黄の3灯の発光ダイオードに加え、赤外発光ダイオード3灯を同時点灯させた場合の容器内の温度変化である。点線のグラフに対して短時間に昇温しているのがわかる。ヒーター代わりに使え、また赤外光は目に見えないので信号機が表示する色を邪魔しないうえ、1個の発光ダイオードが約7mWなので50個ヒーターとして使っても5Wしか電力を消費せず省エネである。

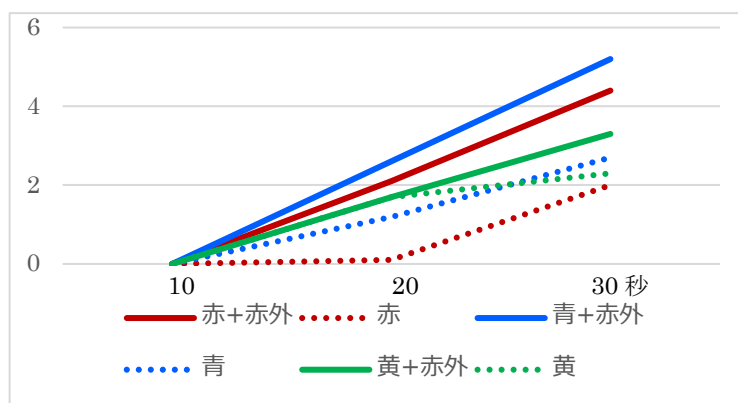


図8 容器内の温度（1：開始時 2：15秒後 3：30秒後）

（3）カバーへの熱供給

LED ライトには、放熱板が付いている（図9）。発生する熱を後方に逃すためである。そこでこの熱を逆にレンズ前面のカバーへ供給できないか実験してみた。熱は放熱板に取り付けた長さ6cm幅2cmの熱伝達板で、先端はレンズカバー脇まで伸ばした。またアルミニウムと銅板を使って2種類自作した。ライトは図9の10WLEDランプである。なお実験する際、ライトの熱を前にだけ集めるように発泡スチロールブロックでライト全体を覆うカバーを自作した（図10）。

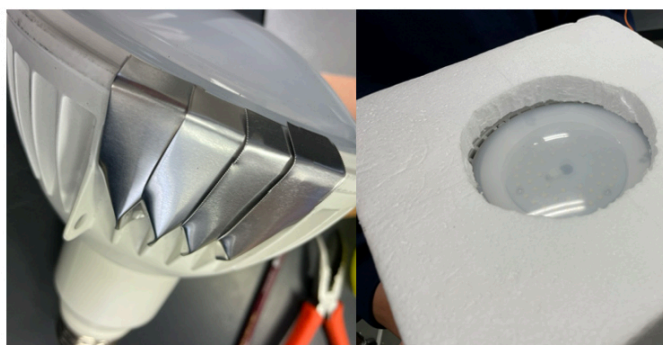


図9 LEDの放熱板

図10 LED（左：熱伝達板 中：LEDカバー 右：カバー断面図）

実験の結果を図11に示した。Controlは熱伝達板がないライトの表面温度である。しかしアルミニウム及び銅板で製作した熱伝達板を放熱板に取り付けるとライトの表面温度が3分で4℃も上昇した。

A line graph showing the temperature increase (in °C) over a 3-minute period for three conditions: Control (blue line), Aluminum Plate (red line), and Copper Plate (green line). The y-axis ranges from 20 to 50 °C, and the x-axis shows time in minutes (0, 1, 2, 3). All conditions start at approximately 25 °C at 0 minutes. The Aluminum Plate condition shows the highest temperature increase, reaching about 44 °C at 3 minutes. The Copper Plate condition follows, reaching about 43 °C at 3 minutes. The Control condition shows the lowest temperature increase, reaching about 40 °C at 3 minutes.

Time (min)	Control (°C)	アルミプレート (°C)	銅プレート (°C)
0	25	25	25
1	35	38	37
2	39	42	41
3	40	44	43



(4) 素材の熱透過性

表 3 ランプ内部の温度と外部カバーの温度差

カバー素材	内部空気との温度差(℃)
ガラス板(1mm)	0.1
アクリル板(1mm)	-0.2
塩ビシート(0.2mm)	0.3
強化ガラス(0.3mm)	0.6
POフィルム(0.1mm)	3.5
PVC(0.1mm)	4.6
シリコンフィルム(0.1mm)	3.4
ロータス効果フィルム(0.1mm)	3.9

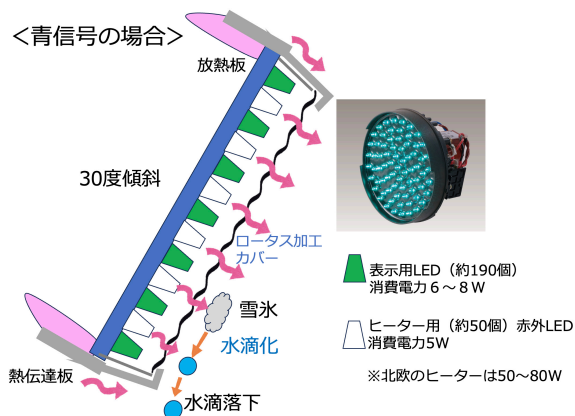


図 12 集熱のイメージ

発熱しないため着雪問題が起きている雪国に LED 信号機。私たちは 4 つの観点から試験を行いモデルとなるスタイルを考案した。信号機カバーは PVC と同程度の熱伝導性がある PET（ポリエチレンテレフタレート）。厚さは現状の 2mm ではなく 0.3mm。これはペットボトルと同じ素材厚さで透明度も強度もあるからである。また発光しない赤外 LED をヒーターとして各ライト内に点在させ低温時に点灯して保温する。さらにアルミの熱伝達板を取り付け、カバー表面に熱を集め着雪した雪を溶かす。カバー表面にはロータス加工されているので溶けたら瞬時に水滴にして弾き飛ばす（図 11）。これが私たちの雪国向き省エネ LED 信号機である（図 12）。現在、4 つの視点から好成績となった素材を組み合わせたプロトタイプが試作できないか検討している。経済効果も大きい。ぜひメーカーの協力を得て地域や世界の課題解決に取り組みたい。

0.3mm厚のロータス加工フィルムのPET製カバー
保温用の赤外LEDは常時もしくは低温時に点灯



図 11 融雪（左のアクリルは溶けないが右のロータスは LED 熱で水を弾く）



図 12 雪国向き信号機